



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILOVÉHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH JEŘÁBOVÉ TRAVERZI O NOSNOSTI 15 TUN

DESIGN OF LIFTING BEAM WITH LOAD CAPACITY 15 TONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN VALENTA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ANTONÍN ŠŤASTNÝ

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Valenta

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh jeřábové traverzy o nosnosti 15 tun.

v anglickém jazyce:

Design of lifting beam with load capacity 15 tons.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na výpočet a konstrukční návrh jeřábové traverzy pro manipulaci s kusovým materiálem. Součástí práce je také stručná rešeršní studie základních typu používaných traverz.

Technické parametry:

Nosnost: 15 t

Rozteč závěsných bodů pro zavěšení břemene: 3000 mm

Traverza nepřesáhne 20000 zvedacích cyklů

Cíle bakalářské práce:

Proved'te:

- rešeršní studii používaných typu traverz
- volbu vhodné koncepce
- posouzení namáhání a volbu nosného profilu v souladu s požadavky platné normy

Nakreslete:

- svařovací sestavu traverzy
- výrobní výkresy jednotlivých dílů svarku dle požadavku vedoucího

Seznam odborné literatury:

REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a dopln. vyd., SNTL Praha, 1975

ČSN EN 13155+A2 :2002 Jeřáby-Bezpečnost-Volně zavěšené prostředky pro uchopení břemen
Internet

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Šťastný

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje návrh konstrukčního řešení jeřábové traverzy jednoduché s pevnou roztečí závěsných prvků. Práce obsahuje řešerši základních používaných typů jeřábových traverz, vlastní návrh traverzy, pevnostní výpočet, model ve 3D a výkresovou dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jeřábová traverza, závěsné prvky, únosnost, pracovní rozteč, požadavky na dimenzování

ABSTRACT

This bachelor work describes the design of the construction analysis of lifting beam simple whit fixed-distance of suspension elements. The work includes research of basic types of lifting beams, own design of the beam, solidity calculating, 3D model and drawing documentation.

KEYWORDS

Lifting beam, suspension elements, carrying capacity, working distance, requirements for dimensioning



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VALENTA, J. *Návrh jeřábové traverzy o nosnosti 15 tun*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. XX s. Vedoucí diplomové práce Ing. Antonín Šťastný.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Antonína Šťastného a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Jan Valenta



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucím práce Ing. Antonínu Šťastnému za vedení mé práce a cenné rady.



OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	1
Úvod	9
1 Rozdělení základní používaných typů jeřábových traverz	10
1.1 Jeřábové traverzy jednoduché	11
1.2 Jeřábové traverzy vícebodové	12
1.2.1 Jeřábové traverzy typu "H"	12
1.2.2 Jeřábové traverzy křížové	12
1.3 Jeřábové traverzy otáčecí	13
1.3.1 otáčení kolem horizontální osy	13
1.3.2 otáčení kolem vertikální osy	14
1.4 Jeřábové traverzy vyvažovací	14
1.5 Jeřábové traverzy Magnetické	15
1.6 Jeřábové traverzy speciální	16
2 Návrh jeřábové traverzy	17
2.1 Legislativní požadavky pro dimenzování	17
2.2 Návrh konstrukce traverzy	18
2.2.1 Zadané technické parametry	18
2.2.2 Návrh nosného průřezu	18
2.2.3 Volba materiálu	19
2.2.4 Volba závěsných prvků	19
2.3 Průběh VVU	20
2.4 Pevnostní výpočet	21
2.4.1 Ohyb traverzy	21
2.4.2 Smyk traverzy	22
2.4.3 Posouzení traverzy na lokální boulení	23
2.4.4 Posouzení smykové únosnosti stojny při boulení	23
2.4.5 Kontrola klopení	24
2.5 Návrh svarových spojů	28
2.5.1 volba svařovacího materiálu	29
2.5.2 Závěsné oka na koncích traverzy	29
2.5.3 závěsné oko ve středu traverzy	31
2.6 3D model traverzy	31
Závěr	32
Seznam použitých zkratk a symbolů	34
Seznam příloh	36



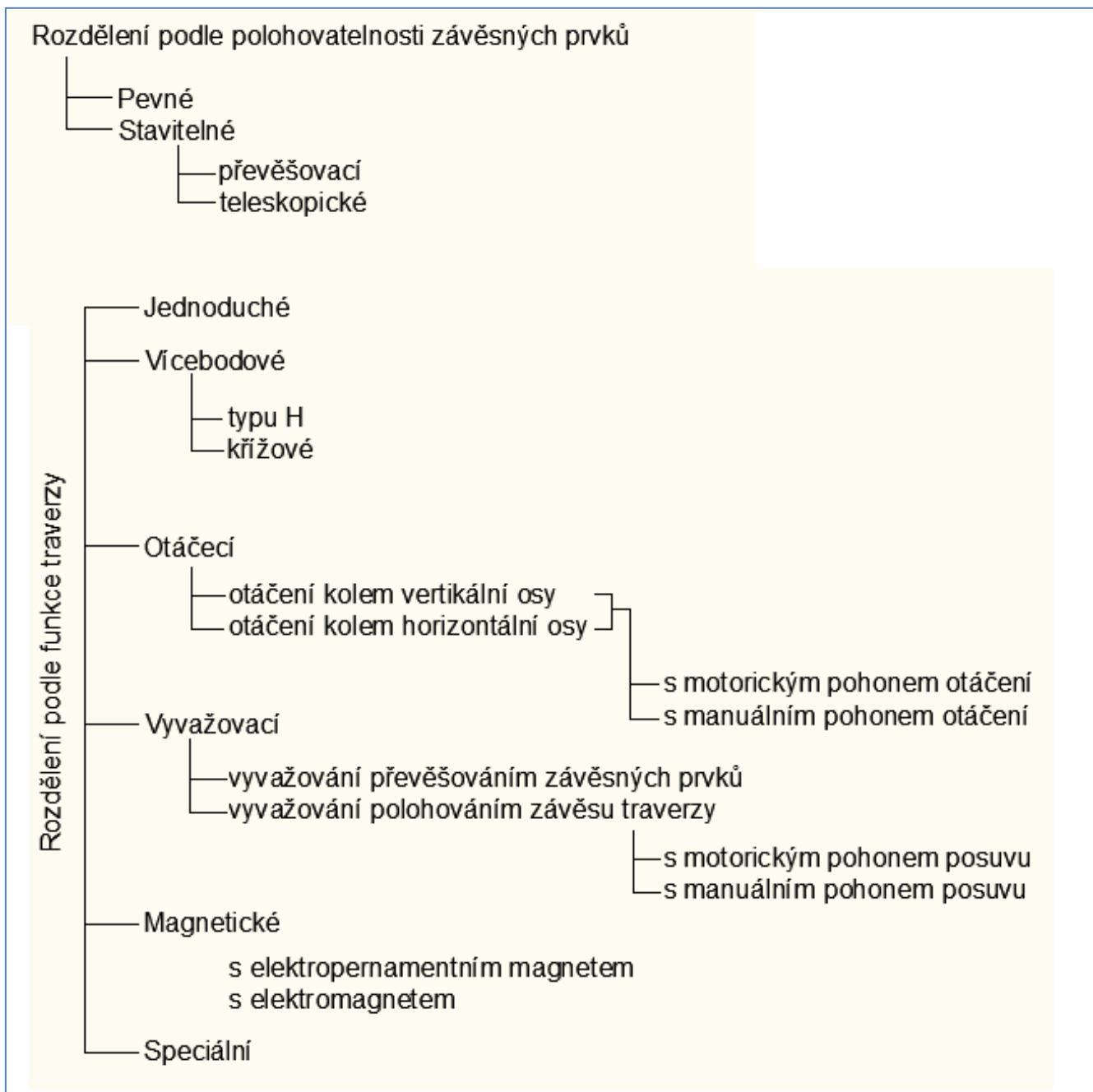
ÚVOD

Jeřábové traverzy patří spolu s vázacími prostředky(řetězy, lana, svěrky apod.)mezi uchopovací techniku pro zvedání břemene jeřábem. Jeřábové traverzy jsou významným prvkem při manipulaci s rozličnými břemeny. Používají se zejména tam, kde velikost nebo povaha břemene neumožňuje použití samotných vázacích prostředků [6]. Slouží k zavěšení hlavně větších a těžších břemen, jejichž jeden rozměr obvykle převládá, nebo jež mají při zavěšení měnit svou polohu, anebo zvláště těžkých břemen, jež se dopravují dvěma jeřáby[1].



1 ROZDĚLENÍ ZÁKLADNÍ POUŽÍVANÝCH TYPŮ JEŘÁBOVÝCH TRAVERZ

Rozdělení jeřábových travéz není popsáno žádnou normou. Při rozdělení typů jeřábových travéz v této práci jsem vycházel z nabídky produktů firem TEDOX s.r.o. ČEVAS group s.r.o. , AGRI FAIR s.r.o. ,TESORT, spol. s r.o. a Uniman Engliš s.r.o.

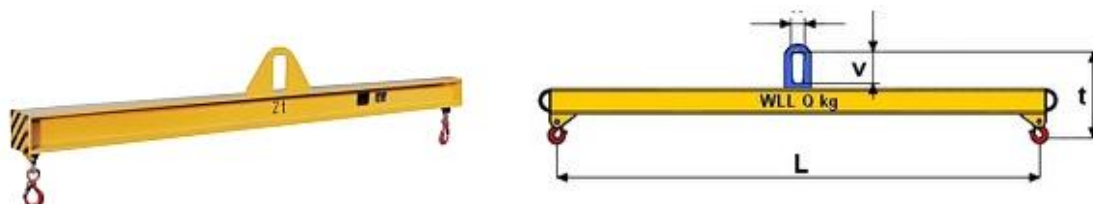


Obr. 1 Rozdělení jeřábových travéz

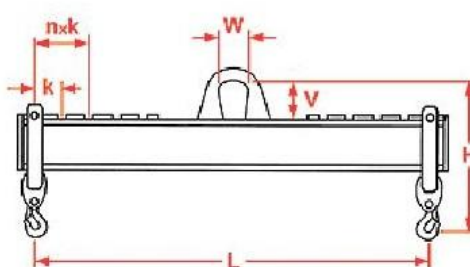


1.1 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY JEDNODUCHÉ

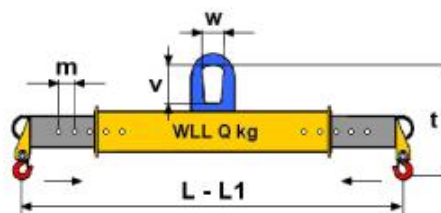
Jedná se o základní provedení jeřábových traverz. Mohou být v provedení s pevnou roztečí závěsných prvků (obr.2). Tento typ je určen především pro manipulaci s dlouhými břemeny s těžištěm ve středu břemena. Traverza je tvořena nosníkem se závěsem traverzy ve středu nosníku a závěsnými prvky na koncích. Také mohou být v provedení stavitelné. Toto provedení umožňuje měnit pracovní rozteč závěsných prvků, proto jsou tyto traverzy určeny pro manipulace břemen různých rozměrů včetně břemen s těžištěm mimo střed břemene[9]. Nastavení pracovní rozteče může být docíleno pomocí převěšování závěsných jezdců (obr.3) nebo v teleskopickém (obr.4) provedení vysouváním a zasouváním pohyblivých konců traverzy[6]. Teleskopické traverzy jsou vyráběny s elektromotorickým, elektrohydraulickým nebo manuálním vysouváním konců traverzy[8].



Obr. 2 Jeřábová traverza jednoduchá pevná [6]



Obr. 3 Jeřábová traverza jednoduchá stavitelná převěšováním jezdců [8]



Obr. 4 Jeřábová traverza jednoduchá stavitelná teleskopická [8] , [6]

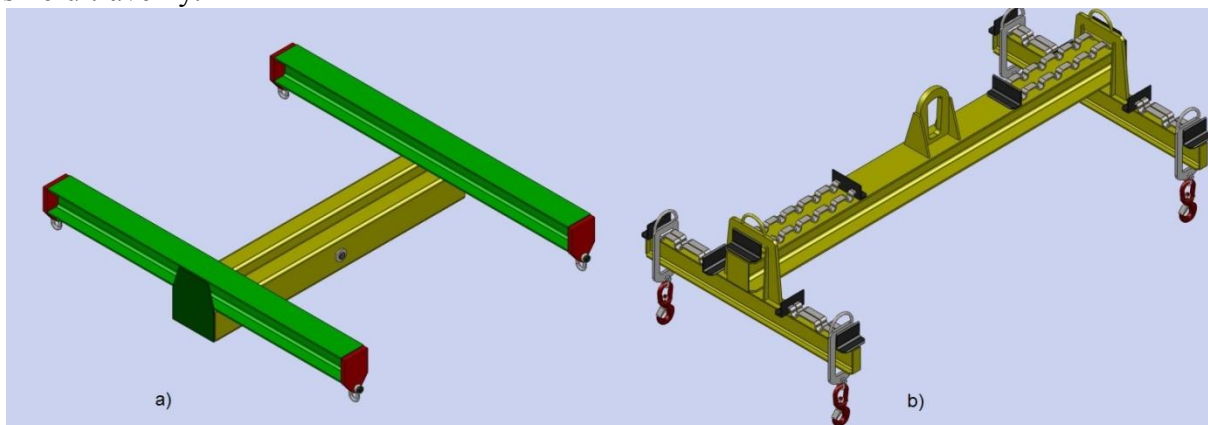


1.2 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY VÍCEBODOVÉ

Jeřábové traverzy vícebodové jsou určeny pro manipulace s rozměrnějšími břemeny. Zpravidla jsou osazeny čtyřmi závěsnými body, ve speciálních provedeních jich mohou mít i více[6].

1.2.1 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY TYPU "H"

Základní provedení vícebodové traverzy je traverza typu "H". Je tvořena jedním podélným nosníkem se závěsem a dvěma příčnými nosníky, které jsou opatřeny závěsnými prvky. Vyrábí se v provedení pevném i stavitelném (obr.5). Stavitelné provedení traverzy umožňuje měnit rozteč závěsných prvků v podélném i příčném směru traverzy.



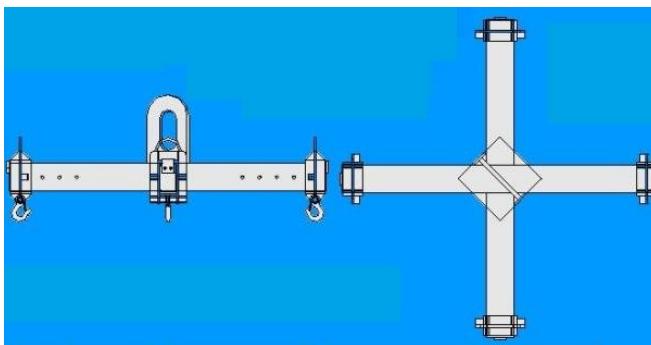
Obr. 5 Jeřábová traverza typu „H“ a) pevná b) stavitelná převěšováním [10]

1.2.2 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY KŘÍŽOVÉ

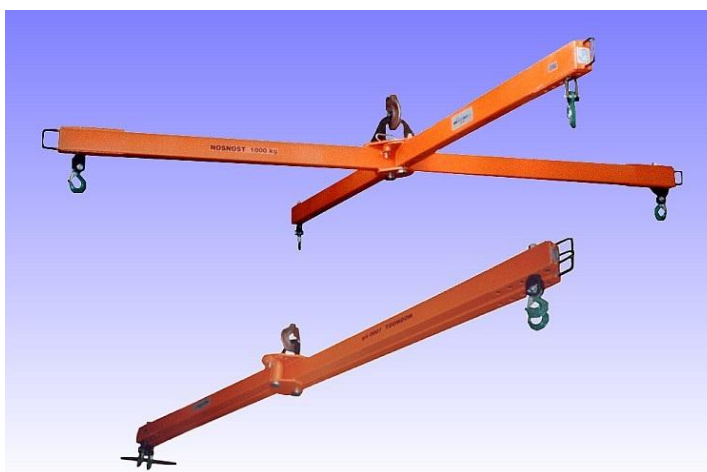
Křížové traverzy se používají zejména na manipulaci s vaky. Křížová traverza je tvořena dvěma navzájem kolmými nosníky, v jejichž středu je závěsné oko pro zavěšení jeřábové traverzy na hák jeřábu. Mohou být s pevnou nebo se stavitelnou roztečí závěsných prvků. Mezi stavitelné křížové traverzy patří křížová traverza skládací. Skládací traverza je provedena tak že lze dosáhnout různého rozpětí vyklápěním ramen. Podle zvoleného vyklopení ramen se může traverza použít jako křížová nebo jako jednoduchá.



Obr. 6 Jeřábová traverza křížová pevná [6]



Obr. 7 Jeřábová traverza křížová stavitelná převěšováním [7]



Obr. 8 Jeřábová traverza křížová skládací [6]

1.3 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY OTÁČECÍ

1.3.1 OTÁČENÍ KOLEM HORIZONTÁLNÍ OSY

Jeřábové traverzy umožňující otáčení zavěšeného břemene okolo horizontální osy bez jakýchkoliv dynamických rázů. Traverzy se skládají z nosníku se závěsným okem, jako závěsné prostředky jsou zde použity závěsné kladky umožňující otáčení břemene. Otáčení je zajištěno pomocí nekonečných řetězů či lan, které jsou podvlečeny pod břemeno. Pohon otáčení je zajištěn ručně nebo elektromotoricky. Používají se především pro válcové břemena. Při využití speciálních popruhů se můžou otáčet i břemena s ostrými hranami. Vyrábí se většinou ve stavitelném provedení s nastavitelnou roztečí závěsných kladek, pro univerzálnější použití.



a)



b)

Obr. 9 Jeřábová traverza otáčecí kolem horizontální osy a) stavitelná s ručním pohonem otáčení [6] b) pevná s elektromotorickým pohonem otáčení [10]

1.3.2 OTÁČENÍ KOLEM VERTIKÁLNÍ OSY

Tento typ traverzy se skládá z nosníku, na kterém je pod těžištěm umístěn otočný mechanismus s menším nosníkem se závěsnými prvky s pevnou roztečí, ke kterému se uchycuje břemeno. Pohon otáčení je většinou řešen elektromotoricky. [8]



a)

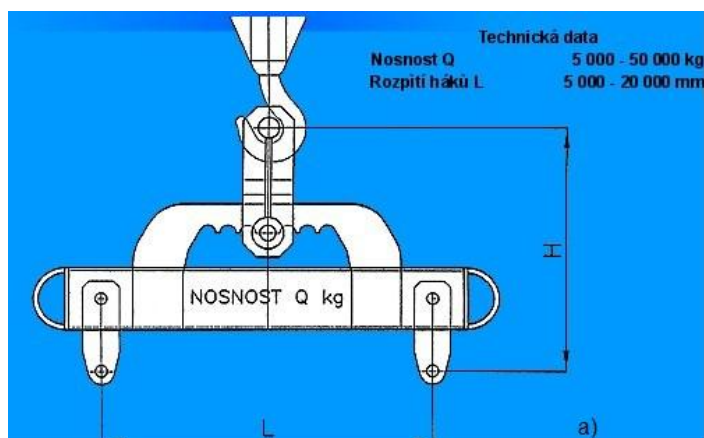


b)

Obr. 10 Jeřábová traverza otáčecí kolem vertikální osy a) standartní provedení b) s otočným středovým hákem [8]

1.4 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY VYVAŽOVACÍ

Jsou určeny pro břemena s neurčitou polohou těžiště. Závěsné oko traverzy umožňuje měnit polohu převěšováním nebo lineárním posuvem a tím vyvažovat traverzu s břemenem. Lineární posuv bývá realizován pomocí kuličkového šroubu s maticí. U stavitelných traverz se k vyvažování také využívá převěšování závěsných prvků. Vyvažovací traverzy typu „H“ umožňují posun závěsného oka v podélném i příčném směru a můžou tak měnit polohu těžiště ve dvou osách. Posuv závěsného oka se provádí ručně nebo motoricky.



Obr. 11 Jeřábová traverza vyvažovací a) s převěšovací závěsem a pevnou roztečí závěsných prvků [7] b) s posouvajícím závěsem a stavitelnou roztečí závěsných prvků [6]

1.5 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY MAGNETICKÉ

Používají se především pro vodorovnou a svislou přepravu plechů ve sladech hutního materiálu. Jejich výhodou je snadná, rychlá a efektivní manipulace. Bývají v provedení pevném nebo stavitelném pro univerzálnější použití. Stavitelné provedení je většinou řešeno teleskopicky. Jako závěsné prvky jsou zde magnety, které můžeme rozdělit do dvou skupin: elektropernamentní magnety a elektromagnety. Elektromagnety jsou v praxi používány nejvíce. Jsou schopny manipulovat jak s jednotlivými plechy, tak i svíce plechy najednou. Mohou být vybaveny funkcí listování, kdy je možno po zvednutí určitého počtu plechů tento počet snižovat postupným upouštěním spodních plechů. Elektropernamentní magnety jsou schopny manipulovat pouze s jednotlivými plechy od tloušťky 4 mm v závislosti na formátu. Výhodou systémů s elektropernamentní magnety je, že nepotřebují záložní zdroj pro případ výpadku proudu. [8]



Obr.12 Jeřábová traverza magnetická a)pevná s bateriovými elektromagnety b)teleskopická [8]



1.6 JEŘÁBOVÉ TRAVERZY SPECIÁLNÍ

Vyrábí se na zakázku podle konkrétního požadavku na použití. Jsou určeny pro předem daný typ břemene nebo pro manipulaci nadrozměrných či vysokohmotnostních břemen. V některých případech bývají konstruovány pro spojení dvou nebo tří jeřábů.



Obr. 13 Traverza pro umístění na vidlicích vysokozdvížného vozíku [9]

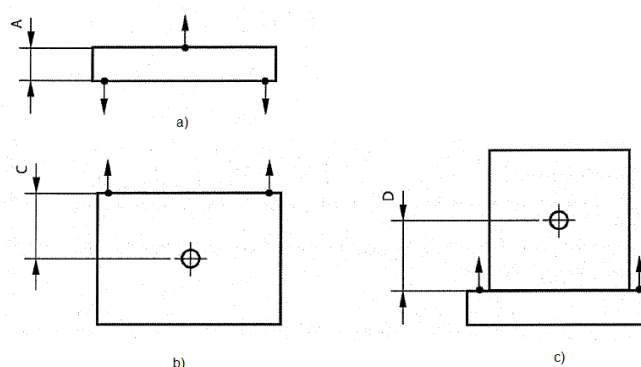


Obr. 14 Traverza pro zvedání tramvaje [10]

2 NÁVRH JEŘÁBOVÉ TRAVERZY

2.1 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY PRO DIMENZOVÁNÍ

Podle [5] je jeřábová traverza definována jako příslušenství pro zdvihání, pro které platí, že musí být navrženo a konstruováno tak, aby při statických zkouškách odolalo přetížení bez trvalé deformace nebo zřejmého porušení. Aby byla zaručena odpovídající úroveň bezpečnosti musí se při výpočtech vzít v úvahu hodnota koeficientu statické zkoušky. Tento koeficient má zpravidla hodnotu 1,5. Na nosné traverzy se vztahuje harmonizovaná norma [4], která předepisuje dvě metody ověření statickou zkouškou s různými hodnotami koeficientu statické zkoušky. Podle první metody má být traverza navržena tak, aby odolala zatížení o dvojnásobné nosnosti bez výskytu trvalých deformací. Podle druhé má traverza odolat zatížení o trojnásobné nosnosti tentokrát se připouští vznik trvalých deformací. V praxi je pro nás vznik trvalých deformací nežádoucí. Při výpočtu s hodnotou koeficientu statické zkoušky 3 by byla vyrobená traverza zničena následnou statickou zkouškou vznikem trvalých deformací a byla by tak pro další využití nevyhovující. Také si myslím, že při návrhu s koeficientem statické zkoušky 3 by byla traverza zbytečně předimenzovaná pro předepsanou nosnost. Dále ve výpočtu budu uvažovat hodnotu koeficientu statické zkoušky 2. Splněním této normy bude dosaženo i splnění požadavků stanovených v [5]. Traverzu budu tedy navrhovat pro zatížení nosností $15 \times 2 = 30 \text{ t}$ nevznikly při statické zkoušce žádné trvalé deformace. Také musí být zajištěno, že nosná traverza bude v kombinaci s břemenem při zvedání stabilní. Aby toho bylo dosaženo, musí být celková výška pozitivní. Způsob uchycení pro pozitivní výšku traverzy A je zobrazen spolu se způsoby uchycení břemene na obr. 15. Tento způsob použiji v tomto návrhu. Pro kombinaci uchycení a) a c) bude traverza s břemenem při zvedání vždy stabilní. Pro kombinaci a) a c) musí pro stabilitu platit $A > D$. [4] Jeřábová traverza bude určena pro použití ve vodorovné poloze, konstrukce tedy musí tolerovat naklonění max. 6° z vodorovné polohy.



Obr. 15 a) uchycení traverzy s pozitivní výškou b) uchycení břemene s pozitivní výškou c) uchycení břemene s negativní výškou [4]

2.2 NÁVRH KONSTRUKCE TRAVERZY

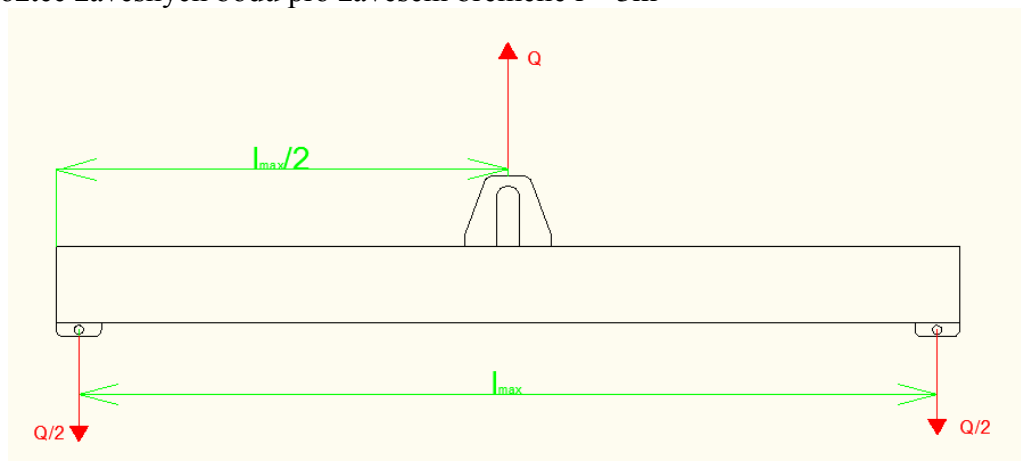
V této práci se budu zabývat návrhem jeřábové traverzy jednoduché s pevnou roztečí závěsných prvků. Závěs traverzy bude ve středu nosníku a bude realizován pomocí závěsného oka.

2.2.1 ZADANÉ TECHNICKÉ PARAMETRY

Nosnost $Q = 15 \text{ t}$

Návrhový součinitel $k = 2$

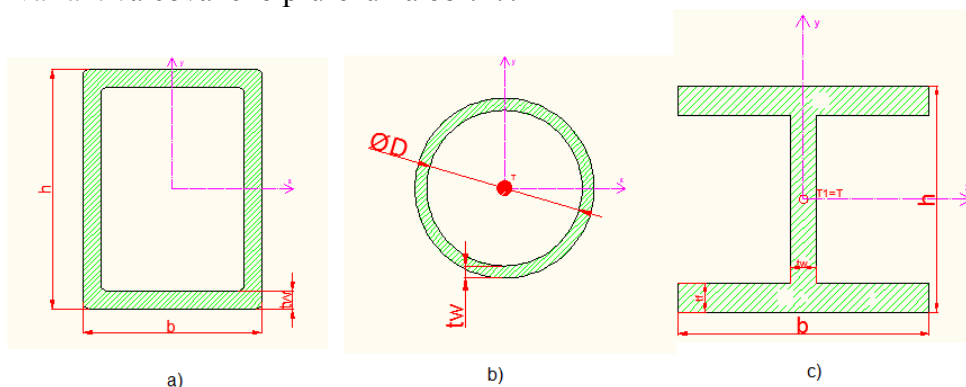
Rozteč závěsných bodů pro zavěšení břemene $l = 3 \text{ m}$



Obr.16 zatížení traverzy a rozteč závěsných prvků

2.2.2 NÁVRH NOSNÉHO PRŮŘEZU

Pro ocelové konstrukce se využívají především tenkostěnné průřezy. Z hlediska pružnosti pevnosti můžeme traverzu uvažovat jako prut. Její průřez je \ll než její délka. Při ohybu prutu je nosný průřez namáhán ohybovým momentem a zpravidla i posouvající silou, způsobující namáhání smykem. Pro jeřábovou traverzu zvolím jednu z variant válcovaného průřezu na obr.17.



Obr.17 tenkostěnné průřezy a) obdélníkový b) kruhový c) I profil

Pro konstrukce jeřábových traverz se většinou používají skříňové nosníky a nosníky s profilem I. Nosníky s profilem I mají dobré vlastnosti při námáhání ohybem vyjádřené poměrem W/m (průřezový modul k ose větší tuhosti/hmotnost). Pro svou konstrukci traverzy si volím průřez I.



2.2.3 VOLBA MATERIÁLU

POŽADAVKY NA MATERIÁL

- Dostatečná pevnost
- Zaručená svařitelnost

ZVOLENÝ MATERIÁL

Volím konstrukční ocel podle ČSN 41 1523 : 1994 – Ocel 11 523
Ekvivalentní označení : S355J0.

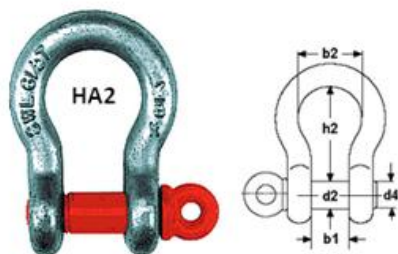
VLASTNOSTI MATERIÁLU

Nelegovaná konstrukční jemnozrnná jakostní ocel vhodná ke svařování.
Vhodná na mostní a jiné svařované konstrukce a součásti strojů.
Mez pevnosti v tahu: $f_u = 510 \text{ MPa}$,Mez kluzu: $f_y = 355 \text{ MPa}$

2.2.4 VOLBA ZÁVĚSNÝCH PRVKŮ

ZÁVĚSNÉ TŘMENY NA KONCÍCH TRAVERZY

Každý třmen bude zatížen silou $\frac{F_g}{2} = 147150 \text{ N}$. Zvolil jsem závěsné třmeny z katalogu firmy TEDOXs.r.o. typu H2A velikosti 1 ½ palce.



Velikost (inch)	Nosnost (kg)	Rozměry (mm)								Hmotnost (kg)			
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	HC1	HA1	HA2	HC2
1 1/2	17000	38	41	92	41,4	60	98	124	146	8,33	7,29	7,79	8,78

tab.1 závěsné třmeny HA2 od firmy TEDOX [6]



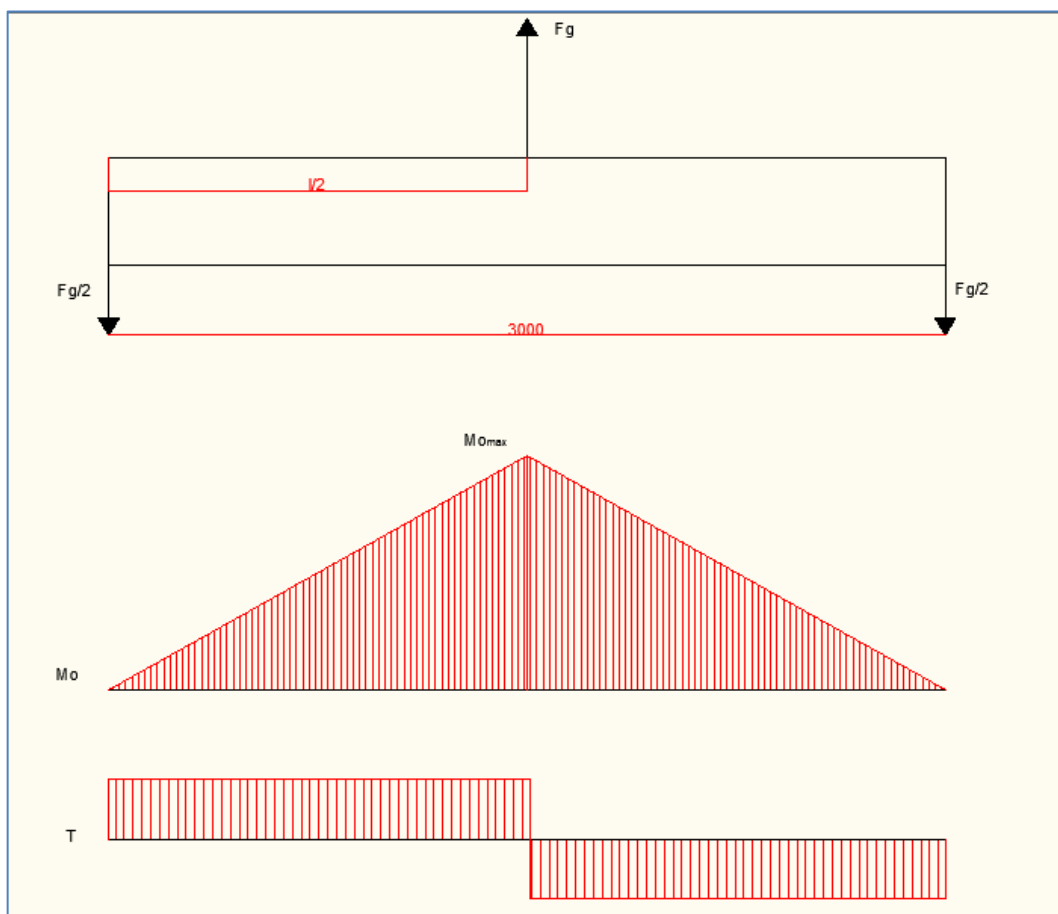
ZÁVĚSNÝ TŘMEN VE STŘEDU TRAVERZY

Tento třmen bude sloužit k zavěšení traverzy na hák jeřábu, bude zatížen silou $F_g = 294300\text{N}$ a vlastní tíhou traverzy. Volím závěsný třmen z katalogu firmy TEDOXs.r.o. typu H2A velikosti 2 palce.

Velikost (inch)	Nosnost (kg)	Rozměry (mm)								Hmotnost (kg)			
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	HC1	HA1	HA2	HC2
2	35000	51	57	127	57	83	146	171	197	18,50	16,20	18,50	20,84

tab.2 závěsné třmeny HA2 od firmy TEDOX [6]

2.3 PRŮBĚH VVU

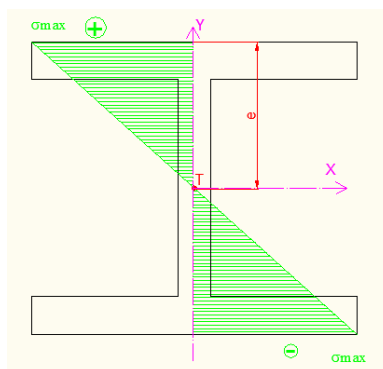


Obr.19 VVU traverzy

Z průběhu vvu je patrné že nejvíce namáhaný průřez bude pod závěsem traverzy kvůli největšímu ohybovému momentu. Posouvající síla má stejnou velikost po celé délce traverzy, akorát se mění její orientace. Pro pevnostní výpočet prutu namáhaného ohybem je určující účinek od ohybového momentu.

2.4 PEVNOSTNÍ VÝPOČET

2.4.1 OHYB TRAVERZY



Obr.20 průběh ohybového napětí v průřezu

$$Q_0 = 15000 \text{ kg} ; l = 3 \text{ m} ; k = 2 ; g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

$$Q = Q_0 \cdot k = 30000 \text{ kg} \quad (1)$$

$$F_g = Q \cdot g = 294300 \text{ N} \quad (2)$$

$$M_{o_{max}} = \frac{F_g}{2} \cdot \frac{l}{2} = 220725 \text{ Nm} \quad (3)$$

Kde:

Q_0 je nosnost traverzy [kg]

Q je návrhová nosnost traverzy [kg]

F_g je zatížení traverzy

k je návrhový součinitel [-]

g je tíhové zrychlení [m/s^2]

l je rozteč závěsných třmenů [m]

$M_{o_{max}}$ je maximální ohybový moment pod závěsem traverzy [N.m]

$$\text{Aby nedošlo k meznímu stavu pružnosti musí platit } \sigma_0 \leq f_{yd} \quad (4)$$

$$\text{Návrhová pevnost je podle [3] stanovena výrazem } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{MO}} \quad (5)$$

Kde :

f_y je mez kluzu [MPa]

γ_{MO} je součinitel spolehlivosti materiálu [-] ; podle [3] $\gamma_{MO} = 1$

$$f_{yd} = f_y = 355 \text{ MPa}$$



Pro ohybové napětí platí :

$$\sigma_o = \frac{M_{o_{max}}}{W_{o_{min}}} \leq f_{yd} \quad \text{odtud pak} \quad W_{o_{min}} \geq \frac{M_{o_{max}}}{f_{yd}} \quad (6)$$

$$\frac{M_{o_{max}}}{f_{yd}} = 620493 \text{ mm}^3 \quad W_{o_{min}} \geq 620493 \text{ mm}^3$$

Kde:

σ_o je ohybové napětí [MPa]

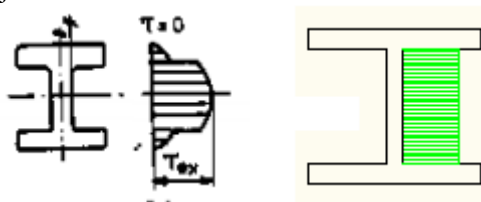
f_{yd} je návrhová pevnost [Mpa]

$W_{o_{min}}$ minimální je průřezový modul v ohybu [mm³]

Na základě hodnoty průřezového modulu v ohybu si volím válcovaný nosník z katalogu firmy Arcelor Mittal, označení S 310x52 s průřezovým modulem v ohybu $W_o = 627000 \text{ mm}^3$. Podrobné informace o válcovaném profilu viz. přílohy.

2.4.2 SMYK TRAVERZY

Podle pružnosti pevnosti lze konstatovat, že u I profilů namáhaných na smyk, přenáší celou posouvající sílu stojna.



Obr.21 průběh smykového napětí v průřezu

Průběh napětí je po výšce obdélníku parabolický (obr.21.) Pro výpočet je toto zakřivení zanedbatelné a můžeme uvažovat konstantní průběh napětí po celé stojně.

Podle [3] se smykové napětí pro I a H průřezy může stanovit z výrazu:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \quad (7)$$

$$V_{Ed} = \frac{F_g}{2} = 147150 \text{ N} \quad A_w = 2768,6 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{Ed} = 53,15 \text{ MPa}$$

Kde:

- τ_{Ed} je smykové napětí [MPa]
- V_{Ed} je posouvající síla [N]
- A_w je plocha průřezu stojny [mm²]



Návrhová únosnost ve smyku stanovena podle [3] z podmínky HMM podle výrazu

$$\tau_{MK} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

$$\tau_{MK} = \frac{355}{\sqrt{3}} = 204,95 \text{ MPa}$$

Aby nedošlo k meznímu stavu pružnosti musí platit :

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{MK} \quad (9)$$

$$53,15 \text{ MPa} \leq 204,95 \text{ MPa}$$

Pevnost traverzy ve smyku je vyhovující.

2.4.3 POSOUZENÍ TRAVERZY NA LOKÁLNÍ BOULENÍ

Výrobce uvádí v katalogu klasifikaci průřezu S 310x52 podle ČSN 1993-1-1 pro materiál S355 při čistém ohybu i a při čistém tlaku podle 1. třídy.

Třída průřezů 1 - umožňuje vytvořit plastické klouby s rotační kapacitou požadovanou při plasticitám výpočtu, bez redukce jejich únosnosti.

Průřezy 1. třídy jsou definovány jako kompaktní. Průřez je v ohybu kompaktní, to znamená že boulení nenastává a lze počítat s plnou momentovou únosností.

2.4.4 POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI STOJNY PŘI BOULENÍ

[3] předepisuje, že se má podle EN 1993-1-5 posoudit smyková únosnost stojny bez mezilehlých výztuh při boulení jestliže:

$$\frac{h_w}{t_w} \geq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (10)$$

Kde:

h_w je výška stojny 254 [mm]

t_w je šířka stojny 10,9 [mm]

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (11)$$

η je podle [3] pro oceli S235-S460 rovno 1,2

$$\frac{h_w}{t_w} = 23,3$$

$$72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 48,82$$

$$23,3 \leq 48,82$$

Poměr $\frac{h_w}{t_w}$ je menší než $72 \frac{\varepsilon}{\eta}$ není nutné posuzovat smykovou únosnost stojny při boulení.



2.4.5 KONTROLA KLOPENÍ

Podle [3] se má příčně nepodepřený nosník namáhaný na ohyb k hlavní ose větší tuhosti posoudit na klopení následovně:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1 \quad (12)$$

Kde:

M_{Ed} je návrhová hodnota ohybového momentu [Nm]

$M_{b,Rd}$ je návrhový moment únosnosti nosníku při klopení [Nm]

Návrhový moment únosnosti nosníku při klopení se stanoví z výrazu:

$$M_{b,Rd} = X_{LT} \cdot W_y \cdot f_y \quad (13)$$

Kde:

X_{LT} je součinitel klopení ohýbaných prutů stálého průřezu[-]

$W_y = W_{el,y}$

$W_{el,y} = 627 \cdot 10^3 [\text{mm}^3]$

Součinitel klopení se vypočítá z výrazu:

$$X_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} \cdot \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \quad (14)$$

Kde:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) \cdot \lambda_{LT}^2] \quad (15)$$

α_{LT} je součinitel imperfekce při klopení stanovený podle [3] pro příslušnou křivku klopení

Křivka klopení	a	b	c	d
součinitel imperfekt při klopení α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tab. 2 doporučené hodnoty součinitele imperfekce pro křivky klopení [3]

Křivka klopení se pro válcované I průřezy stanoví z poměru $\frac{h}{b}$ (17)

Kde :

b je šířka průřezu [mm]

h je výška průřezu [mm]



Válcované I průřezy	$\frac{h}{b} \leq 2$ $\frac{h}{b} > 2$	Křivka klopení a b
---------------------	--	------------------------------

Tab. 3 doporučené přiřazení křivek klopení k průřezům [3]

$$\frac{h}{b} = \frac{305}{129} = 2,36 \rightarrow \text{křivka klopení } b$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

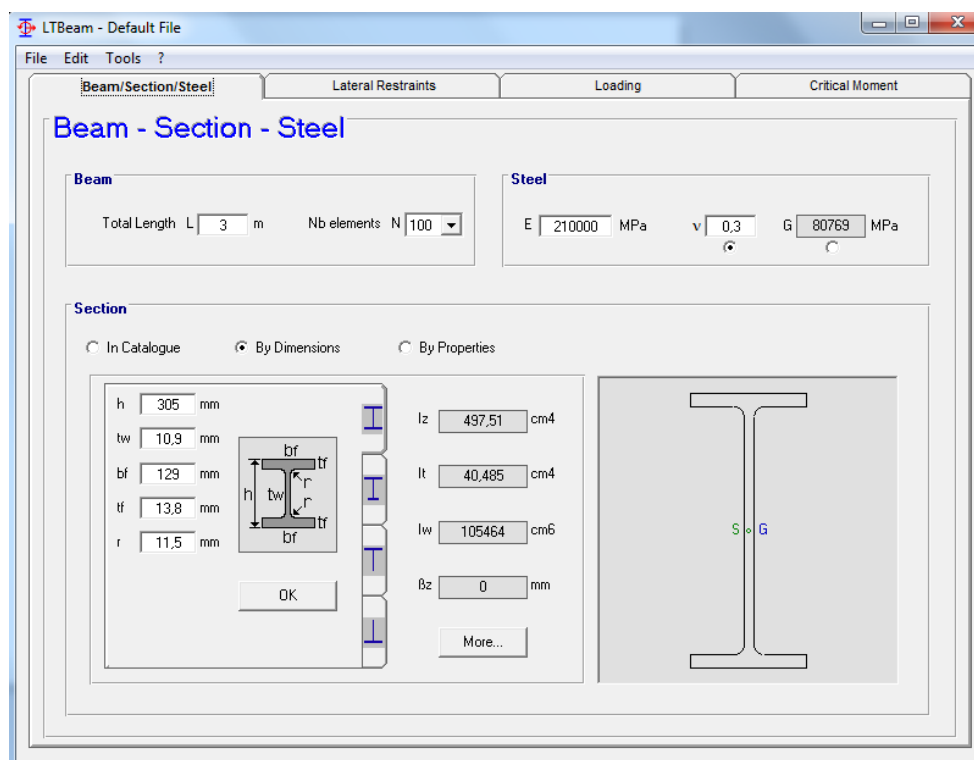
poměrná štíhlost λ_{LT} je podle [3] daná výrazem : $\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$ (18)

kde:

M_{cr} je pružný kritický moment při klopení[Nm]

Pro výpočet M_{cr} jsem použil program LTBeam, ve kterém se definuje tvar, uložení a zatížení nosníku.

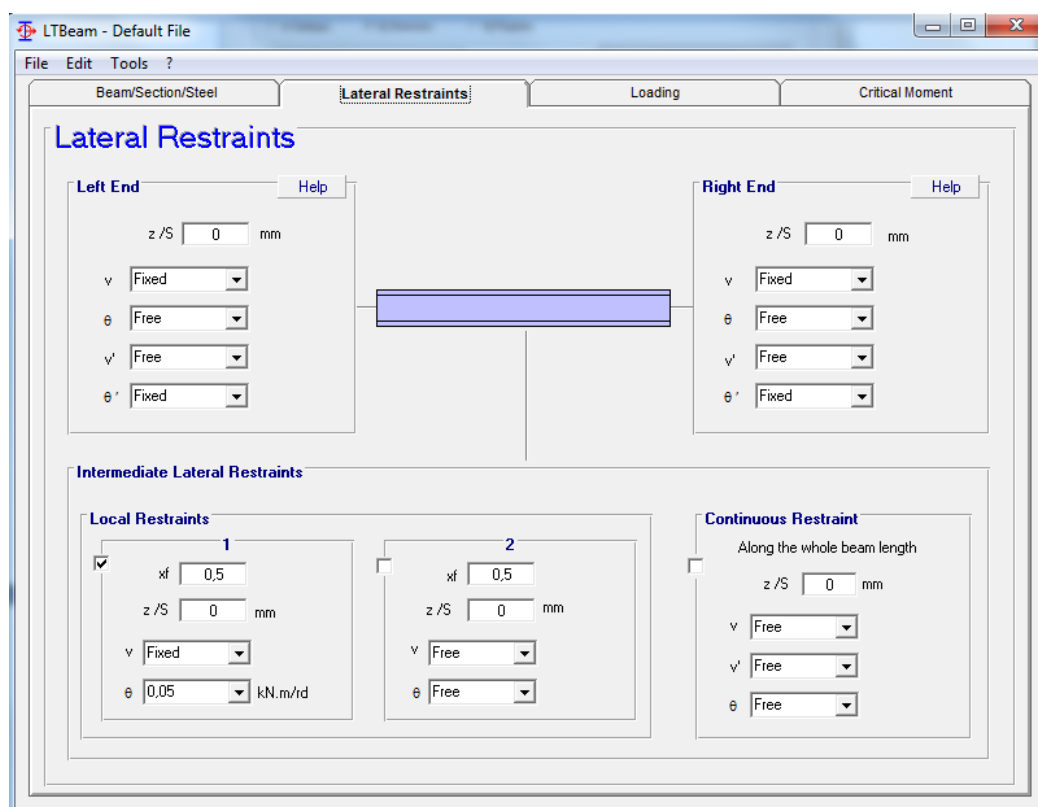
DEFINICE TVARU NOSNÍKU



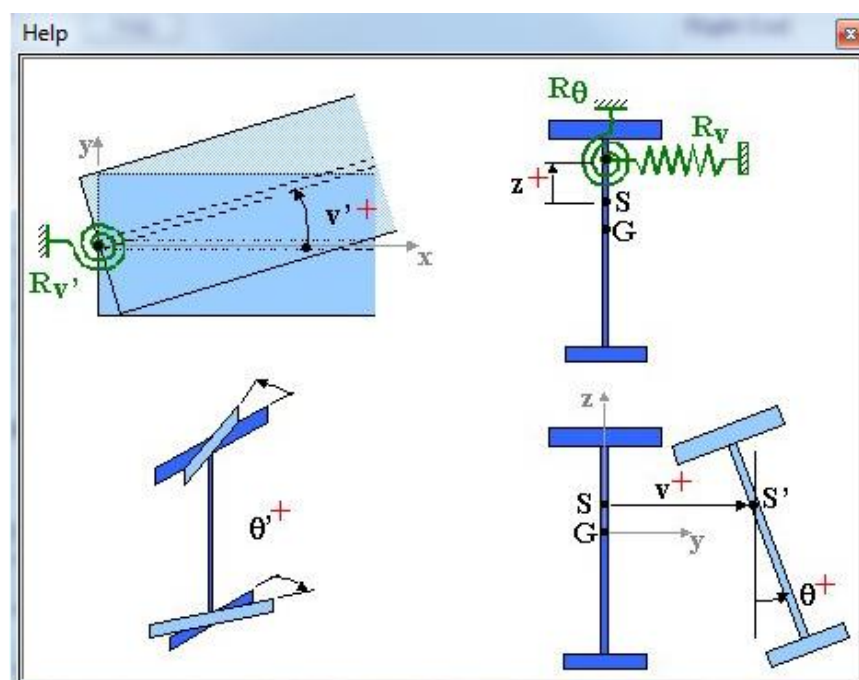
Obr.22 definice tvaru nosníku v programu LTBeam



DEFINICE ULOŽENÍ NOSNÍKU



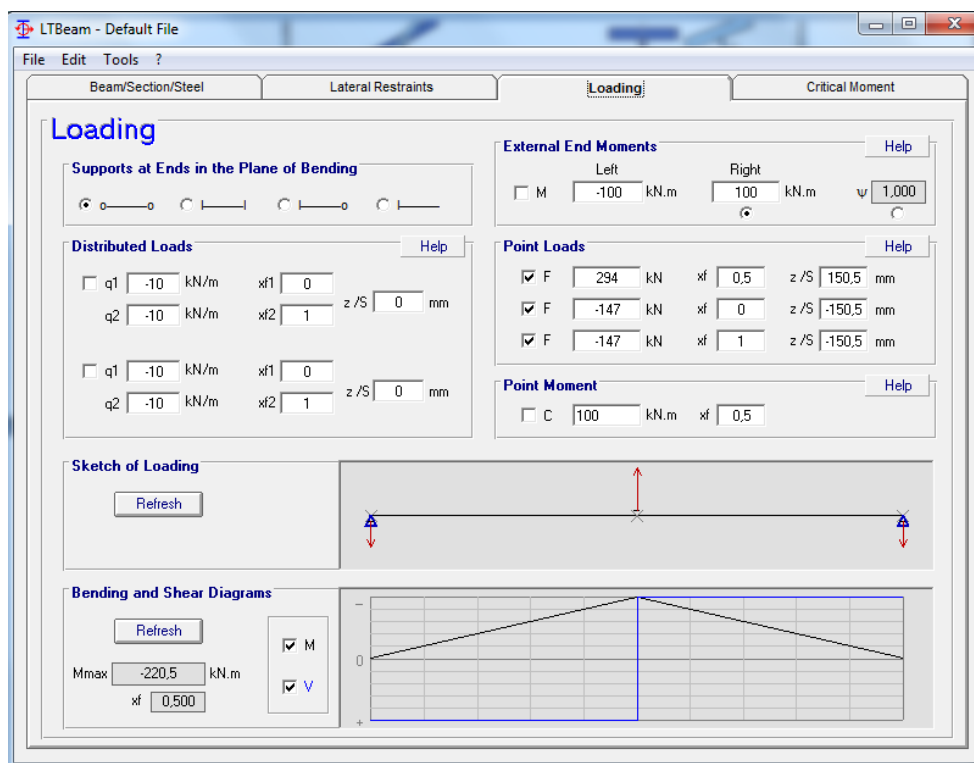
Obr.23 definice uložení nosníku v programu LTBeam



Obr.24 zobrazení pohybů volných konců nosníku v programu LTBeam

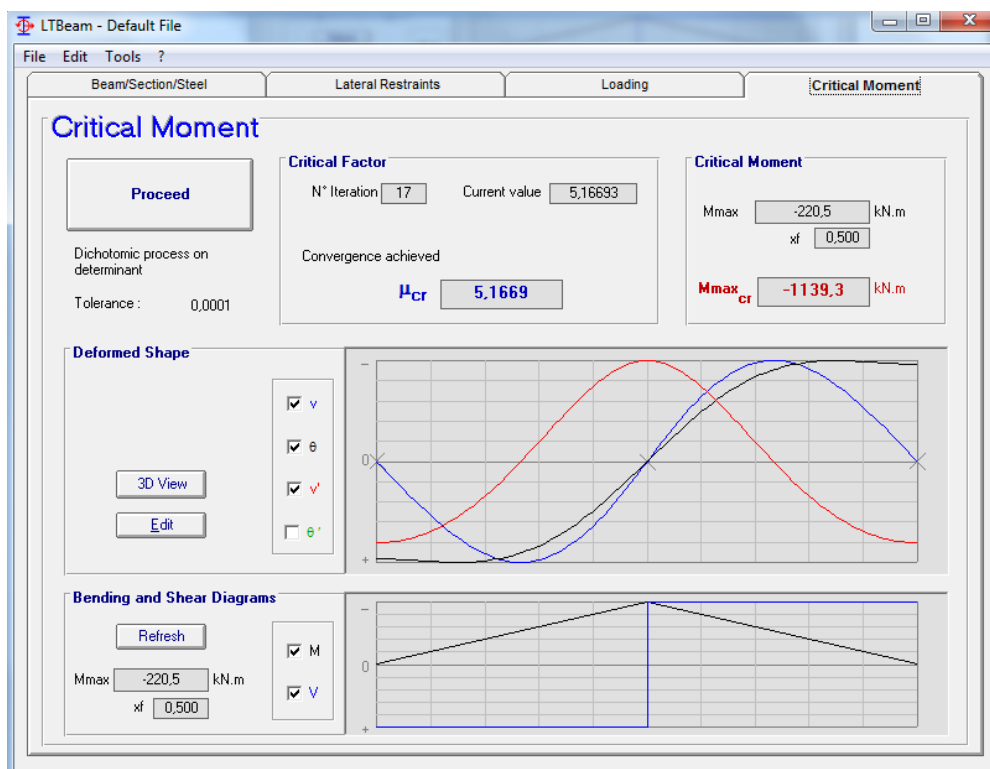


DEFINICE ZATÍŽENÍ NOSNÍKU



Obr.25 definice zatížení nosníku v programu LTBeam

VÝPOČET PRUŽNÉHO KRITICKÉHO MOMENTU



Obr.26 definice zatížení nosníku v programu LTBeam

$$M_{cr} = 1139,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\lambda_{LT} = 0,44$$

$$\phi_{LT} = 0,5$$

$$X_{LT} = 8,4$$

Podle [3] platí $X_{LT} \leq 1$, dále tedy uvažuji $X_{LT} = 1$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{220725}{222585} = 0,99$$

$$0,99 \leq 1$$

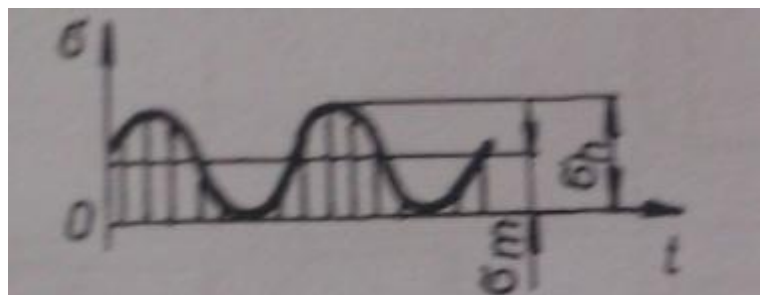
Únosnost navrženého nosníku na klopení je vyhovující.

2.5 NÁVRH SVAROVÝCH SPOJŮ

Návrh svarových spojů provedený podle [2]. Zatížení svarových spojů, u nichž je počet cyklů během předpokládané doby životnosti větší než $5 \cdot 10^5$ se považuje za zatížení dynamické. Jedná se o namáhání na časovou únavu. Velikost součinitele bezpečnosti u svarových spojů namáhaných na časovou únavu se zpravidla volí $n = 1,5 - 3$. [2] Pro výpočet volím součinitel bezpečnosti $n = 2$. Svary jsou cyklicky namáhané, kde způsob zatížení má mívivý charakter. Závěsné oka budou k nosníku přivařeny dvěma koutovými svary.



Obr.27 směrodatné průřezy koutového svaru[2]



Obr.28 mívivé zatížení[2]



2.5.1 VOLBA SVAŘOVACÍHO MATERIÁLU

Obalená elektroda pro ruční obloukové svařování

Označení materiálu: OK - 48.00

Klasifikace podle ČSN EN ISO 2560-A: E 42 4 B 42 H5

Charakteristika: Nejrozšířenější OK bazická elektroda pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí (např. S355J0, S355J2...). Houževnatý svarový kov odolný proti praskavosti.

2.5.2 ZÁVĚSNÉ OKA NA KONCÍCH TRAVERZY

Svarové spoje počítané na časovou únavu musí vyhovovat v jednotlivých průřezech (A, B, C) podmínce:

$$\tau_a \leq \frac{\tau_A}{n} \quad (19)$$

Kde:

τ_A je mez únavy základního materiálu [MPa], její hodnoty se určí pro jednotlivé průřezy ze Smithova diagramu pro příslušný součinitel nesouměrnosti cyklu $r=0$ (pro míjivé zatížení).

τ_a je amplituda napětí cyklu [MPa], stanovené vztahem:

$$\tau_a = \frac{N}{2S_{sv}} \quad (20)$$

Kde:

N je normálová síla [N]

S_{sv} je plocha průřezu svaru [mm²], stanovená vztahem:

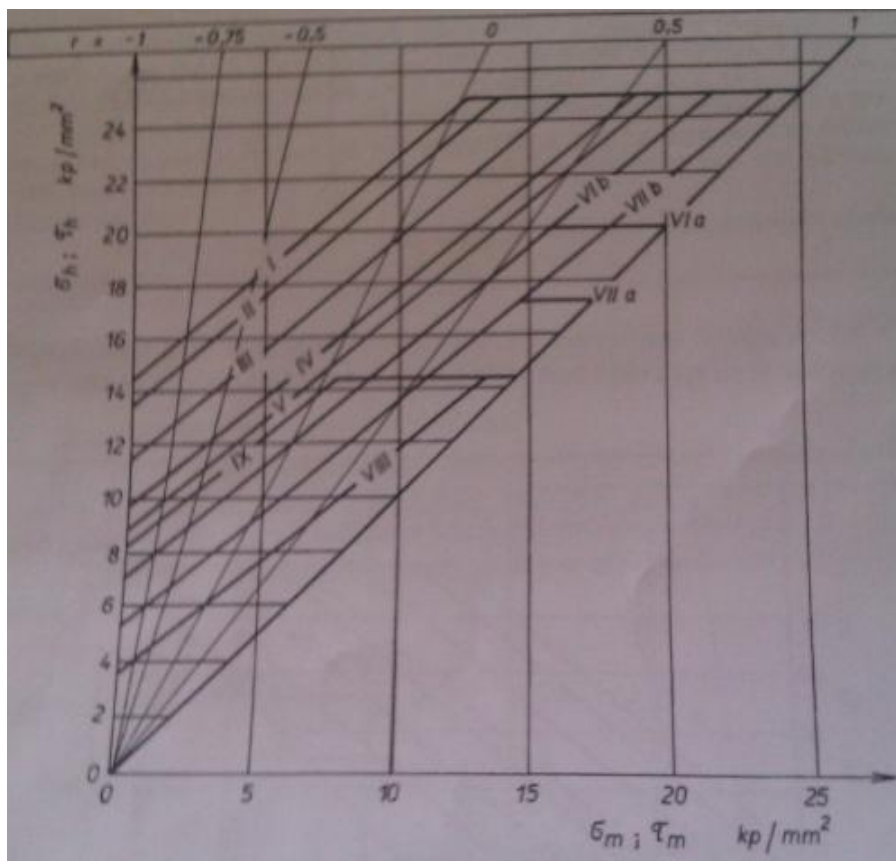
$$S_{sv} = 2 \cdot 0,7 \cdot l_s \cdot t \quad (21)$$

Kde:

l_s je délka svaru [mm]

t je šířka svaru [mm]

Podle [2] má být minimální tloušťka svaru $t=12$ mm pro spojované dílce o tloušťce větší než 50 mm. Závěsné oka budou mít tloušťku větší než 50 mm, volím tloušťku svaru 15 mm.



Obr.29 Smithův diagram pro ocel třídy 11 o pevnosti 42 kp/mm^2 [2]

NÁVRH DÉLKY KOUTOVÉHO SVARU V PRŮŘEZU C

$$\tau_A = 58,84 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{F_g}{2} = 147150 \text{ N}$$

$$l_s \geq \frac{N \cdot n}{4 \cdot 0,7 \cdot t \cdot \tau_A} \quad (22)$$

$$l_s \geq 119 \text{ mm}$$

Pro svar tloušťky 15mm volím délku 120mm. Pro průřezy A a B je hodnota dovoleného napětí větší než pro průřez C. Lze tedy předpokládat, že bezpečnost v průřezích A a B bude splněna, jestliže je splněna v průřezu C.



2.5.3 ZÁVĚSNÉ OKO VE STŘEDU TRAVERZY

Postup výpočtu bude stejný jako pro závěsné oka na koncích traverzy. Tento svarový spoj bude namáhán dvojnásobnou silou $N = F_g$, amplituda napětí v cyklu bude také dvojnásobná. Středové závěsné oko je ze stejného materiálu jako závěsné oka na koncích traverzy, takže hodnota meze únavy bude stejná jak u předchozího výpočtu.

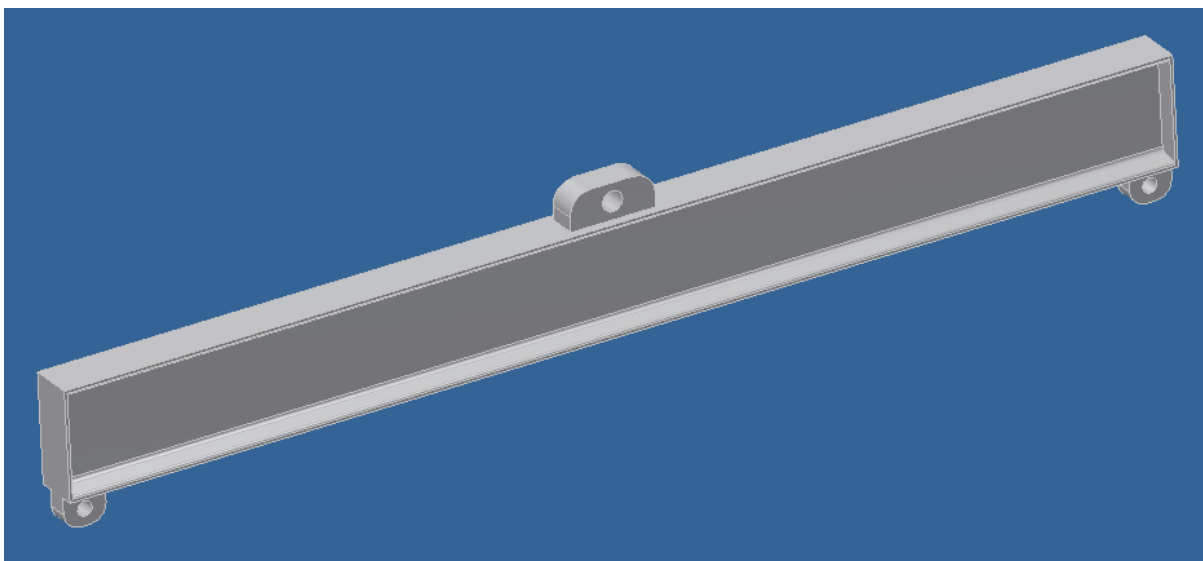
$$\tau_A = 58,84 \text{ MPa}$$
$$N = F_g = 294300 \text{ N}$$

$$l_s \geq \frac{N \cdot n}{4 \cdot 0,7 \cdot t \cdot \tau_A}$$

$$l_s \geq 238 \text{ mm}$$

Pro svar tloušťky 15mm volím délku 240mm

2.6 3D MODEL TRAVERZY



Obr.30 model traverzy



ZÁVĚR

Byla navržena jeřábová traverza jednoduchá pevná o nosnosti 15 tun s roztečí závěsných třmenů 3 metry. Jako nosník byl zvolen válcovaný profil z katalogu firmy Arcelor Mittal, označení S 310x52 z materiálu S355J0, na který jsou navařeny závěsné oka pro uchycení závěsných třmenů. Závěsné třmenu jsou zvoleny z katalogu firmy Tedox označení H2A velikosti 1.5 a 2 palce. Jeřábová traverza je nadimenzována s bezpečností $k=2$ podle požadavků normy ČSN EN 13155+A2 a nařízení vlády č.176/2008.

Nejdříve byla na základě namáhání na ohyb podle ČSN EN 1993-1-1 spočítána velikost nosného průřezu, který byl dále zkontrolován na únosnost ve smyku. Dále byl nosník podle téže normy kontrolován na, lokální boulení, smykovou únosnost stojny při boulení a na klopení.

Závěsné oka jsou k nosníku přivařeny dvěma koutovými svary o tloušťce 15mm. Výpočet minimální délky svaru pro bezpečnost $n=2$ byl proveden podle ČSN 05 0120.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: *Jeřáby, 2.*, přeprac. a dopln.vyd., SNTL Praha, 1975
- [2] ČSN 05 0120: Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí
- [3] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.2006.
- [4] ČSN EN 13155+A2 :2002 Jeřáby-Bezpečnost-Volně zavěšené prostředky pro uchopení břemen
- [5] Nařízení vlády č.176/2008 o technických požadavcích na strojní zařízení.
- [6] TEDOX s.r.o. www.tedox.cz. [Online] <http://www.tedox.cz>
- [7] ČEVAS group s.r.o. www.cevas.cz[Online] <http://www.cevas.cz>
- [8] AGRI FAIR s.r.o. [www. agrifair.cz](http://www.agrifair.cz) [Online] <http:// www.agrifair.cz>
- [9] TESORT, spol. s r.o. www.tesor.cz[Online] <http:// www. tesor.cz>
- [10] Uniman Engliš s.r.o. www.uniman.cz[Online] <http:// www. uniman.cz>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A_w	[mm ²]	plocha průřezu stojny
b	[mm]	šířka průřezu
F_g	[N]	zatížení traverzy
f_y	[MPa]	mez kluzu
f_{yd}	[MPa]	návrhová pevnost
g	[ms ⁻²]	tíhové zrychlení
h	[mm]	výška průřezu
h_w	[mm]	výška stojny
k	[-]	návrhový součinitel
l	[m]	rozteč závěsných prvků
l_s	[mm]	délka svaru
$M_{b,Rd}$	[Nm]	návrhový moment únosnosti nosníku při klopení
M_{cr}	[Nm]	pružný kritický moment při klopení
M_{Ed}	[Nm]	návrhová hodnota ohybového momentu při klopení
M_{omax}	[Nm]	Maximální ohybový moment
N	[N]	normálová síla
n	[-]	součinitel bezpečnosti svarových spojů
Q	[t]	návrhová nosnost traverzy
Q_0	[t]	nosnost traverzy
r	[-]	součinitel nesouměrnosti
S_{sv}	[mm ²]	plocha průřezu svaru
t	[mm]	tloušťka svaru
t_w	[mm]	šířka stojny
V_{Ed}	[N]	posouvající síla
$W_{el,y}$	[mm ³]	plastický průřezový modul k ose větší tuhosti
W_o	[mm ³]	průřezový modul v ohybu k ose větší tuhosti
W_{omin}	[mm ³]	minimální průřezový modul v ohybu k ose větší tuhosti
X_{LT}	[-]	součinitel klopení ohýbaných prutů stálého průřezu



α_{LT}	[-]	součinitel imperfekt při klopení
γ_{M0}	[-]	součinitel spolehlivosti materiálu
λ_{LT}	[-]	poměrná štíhlost
σ_o	[MPa]	ohybové napětí
τ_A	[MPa]	mez únavy základního materiálu svaru
τ_a	[MPa]	amplituda smykového napětí cyklu
τ_{Ed}	[MPa]	smykové napětí od posouvající síly
τ_{MK}	[MPa]	návrhová únosnost ve smyku



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 – tabulka katalogu firmy Arcelor Mittal pro nosníky s označením průřezu S.

Příloha č.2 – výkres svařence BP-JT-00

Příloha č.3 – výkres čela traverzy BP-JT-01

Příloha č.4 – výkres závěsného oka ve středu traverzy BP-JT-02

Příloha č.4 – výkres závěsného oka na koncích traverzy BP-JT-03

Příloha č.5 – seznam položek svařence BP-JT-04